



TITLE:

インド洋SST改変実験にみられる 台風と水蒸気コンベアベルトの相 互作用

AUTHOR(S):

藤原, 圭太; 川村, 隆一; 平田, 英隆; 川野, 哲也

CITATION:

藤原, 圭太 ...[et al]. インド洋SST改変実験にみられる台風と水蒸気コンベアベルトの相互作用. 平成28年度「異常気象と長期変動」研究集会報告 2017: 22-25: 共同研究（一般共同研究）28K-08.

ISSUE DATE:

2017-03

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/224919>

RIGHT:

インド洋 SST 改変実験に見られる台風と水蒸気コンベアベルトの相互作用

藤原圭太・川村隆一・平田英隆・川野哲也（九大院・理）

1. はじめに

熱帯低気圧は地球上において最も激しい気象擾乱であり、北西太平洋域は熱帯低気圧（以下、台風）の多発地帯である。台風は暴風や大雨を引き起こすことで、広範囲に甚大な人的または経済的被害をもたらす。そのため、台風の発達メカニズムの研究は学術的意義に加えて、社会的意義も高い。

台風の代表的な発達メカニズムとして、CISK (Charney and Eliassen, 1964) や WISHE (Emanuel et al., 1988) が提唱されているが、依然として台風の強度予測には大きな誤差が生じている (Rappaport et al., 2009)。その原因の一つとして、台風外側領域から台風内部コア領域へ流入する水蒸気量の定量的評価の不確実性 (e.g., Braun, 2006; Yang et al., 2011) が挙げられるかもしれない。例として、インド洋・南シナ海から台風内部コア領域への水蒸気の流入(水蒸気コンベアベルト: Moisture Conveyor Belt, MCB)が中緯度傾圧帯に侵入する台風の衰退を遅らせている可能性があるとし唆されている (Kudo et al., 2014)。また MCB の強化及び弱화가台風の経路や強度に実質的な影響を及ぼしていることも近年報告されている (Hegde et al., 2015)。このように、複数の研究から台風外側領域から輸送される水蒸気が台風の発達に寄与していることが指摘されているが、どのように水蒸気が台風内部コア領域に輸送され、潜熱解放により台風の発達を促進しているのか等の詳細なプロセスの解明が不十分である。

そこで本研究の目的は、台風外側領域から台風内部コア領域へ流入する水蒸気が、台風

の構造と関連して、どのように台風中心付近へ輸送され、潜熱解放をしているかを調査することである。

本研究では、台風外側領域から台風内部コア領域への水蒸気輸送形態の 1 つである MCB に注目する。対象とする台風は、沖縄を經由し日本に接近した台風 0704 号 (Man-yi) である。

2. モデル設定と改変実験設定

台風のシミュレーションには雲解像領域気象モデル、Cloud Resolving Storm Simulator (CReSS) (Tsuboki and Sakakibara, 2002; Tsuboki and Sakakibara, 2007) を用いた。計算領域は $70^{\circ}\text{E} - 160^{\circ}\text{E}$, $\text{EQ} - 42.5^{\circ}\text{N}$ 、水平解像度は緯度 $0.05^{\circ} \times$ 経度 0.05° である。鉛直層数は 45 層で、初期時刻は Man-yi の発生時刻である 2007 年 7 月 9 日 00UTC とした。初期値・境界値のデータには大気側に NCEP 提供の Climate Forecast System Reanalysis、海洋側には NOAA 提供の Optimum Interpolation Sea Surface Temperature を用いている。

CReSS により再現された台風は最大発達時刻が RSMC ベストトラックデータと比較するとやや遅れる。しかし、経路や最大強度など基本的な特徴は再現されているため (図略)、このシミュレーション結果を Control Run (CNTL ラン) として解析を行う。

水蒸気流入の影響を調査するため、MCB を人為的に強化または弱化させる。そのために、Hegde et al. (2015) の手法を参考に、インド洋・南シナ海 ($70^{\circ}\text{E} - 105^{\circ}\text{E}$, $\text{EQ} -$

26.0°N)の海面水温(SST)を変化させる. SSTの変動幅(ΔT)は $\pm 2^{\circ}\text{C}$, $\pm 3^{\circ}\text{C}$ に設定し, 4つの改変実験を行った. SSTの観測値(SST_{ori})に変動分を加えた SST_m を改変実験のSST初期値として用い, SST_m は次の式で表される.

$$SST_m = SST_{\text{ori}} - \frac{\Delta T}{2} \left[\tanh\left(\frac{x - 112.5}{2}\right) - 1 \right]$$

3. MCB を介した水蒸気輸送

図1aはCNTLランにおける台風の成熟期の時刻(13日00UTC)とその36時間前と72時間前における鉛直積算水蒸気フラックスとSLPを示す. 台風が発達するにつれて, インド洋・南シナ海上の水蒸気フラックスが東に延び, 台風に伴う水蒸気フラックスの分布と繋がり, MCBが形成されている. このような特徴はJRA55の再解析データにも見られている.

図1bは海面潜熱フラックス, 925 hPa 水平風を示している. MCBの形成以降, MCBに沿って下層西風が強まると同時に, その直下の海域から蒸発が活発になっている. 上述の状況から, インド洋・南シナ海で蒸発した水蒸気がMCBを介して台風中心付近まで輸送されている可能性がある.

そこで, MCB直下の海域からの変質を受けた空気塊がどのように台風へ捕捉されるのかを調べるために, 後方流跡線解析を行った. ここでは, 台風中心付近の潜熱加熱に寄与する空気塊の挙動を調べるために, 台風中心から300km以内で, 潜熱加熱率が5 K/hrを超える領域に空気塊を配置した. 高度は方位角平均した潜熱加熱率が極大を示す高度5500mとし, 計算間隔は1分である. 図2aは流跡線解析により得られたインド洋・南シナ海起源の空気塊のうち代表的な経路を表している. 図2bは代表的な空気塊に関連する物理量(高度・潜熱フラックス・温位・比湿)の時系列を示している. MCBに沿って台風内部へ流入する空気塊は高度1000m以下の大気境界層内を移動している. その際, MCB直下の海面から多量の水蒸気供給を受け湿潤化する. その後, 台風中心付近で急激に上昇し, 35Kの温位上昇を伴う強い潜熱加熱を誘起し, 台風の強度に影響を与えている可能性がある. これらのプロセスを更に検証するために, MCBを人為的に変化させ, それに対する水蒸気輸送並びに台風強度の応答を調査する.

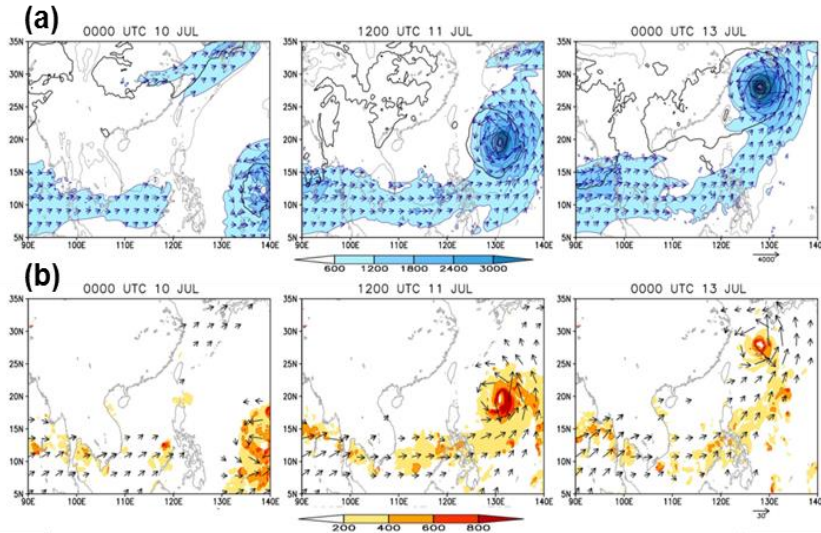


図1. (a) 2007年7月10日00UTC, 11日12UTC, 13日00UTCにおけるCReSSのシミュレーション結果. 陰影は鉛直積算した水蒸気フラックス($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$), 等値線はSLP (hPa)を示す. (b) (a)と同様である. ただし, 陰影は海面潜熱フラックス(W m^{-2}), ベクトルは925 hPa 水平風を示す.

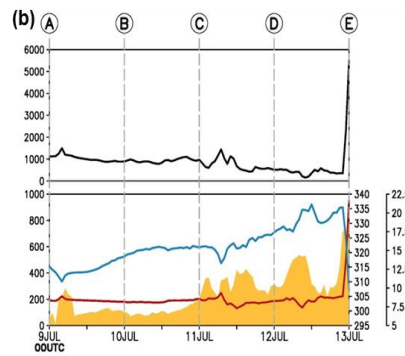
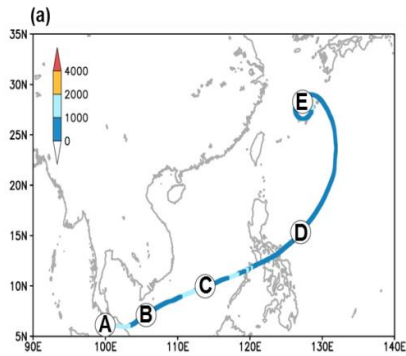


図 2. (a) 後方流跡線解析において選択された典型空気塊の流跡線を示す。線の色は空気塊の高度(m)を示し、A-E で示された位置は図 2(b)と対応している。(b) (a)の空気塊の特性の時間変化を示す。上図は空気塊の高度(m)、下図は空気塊の比湿(g kg^{-1})、温位(K)、空気塊直下の潜熱フラックス(W m^{-2})を示す。

4. SST 改変実験の結果

図 3a は各改変実験の台風中心気圧の時系列を全ての改変実験の平均値からの差で示したものである。SST 降温実験 (Cool Run : CR)では SST 昇温実験 (Warm Run : WR)に比べて台風の発達が進められる傾向を示した。台風の強度の差が顕著となる時刻(13日 00UTC)の水蒸気フラックスの分布をみると、WR では南シナ海上で MCB の断裂が見られた。この時、ベンガル湾上で多量の降水が確認できるため(図略)、MCB の断裂はベンガル湾上の低圧部に水蒸気が捕捉され、南シナ海・西太平洋へ輸送される水蒸気量が減少したためだと考えられる。このような背景場の違いから、WR と CR で台風内部へ輸送される水蒸気量に差が生じていると考えられる。そこで CNTL ランと同様な条件を満たす領域に空気塊を配置し、後方流跡線解析を実施した。

その結果、インド洋・南シナ海から台風内

部へ流入する空気塊は CR の方が多く、その割合は全体の約 30%に及ぶ(図 3b,c)。また空気塊全体の比湿の増加量も CR の方が多い(図略)。それ故、WR では MCB の断裂によりインド洋・南シナ海から台風内部へ輸送される水蒸気量が実質的に減少していると言える。このような CR と WR の水蒸気輸送量の差異は前方流跡線解析でも同様な傾向が見られている。また台風システム内に輸送された空気塊はインフローにより台風内部コア領域に運ばれ、壁雲付近で強制上昇することで、潜熱解放を誘起していることも明らかとなった。

上述の水蒸気輸送量の差は台風の構造の違いにも対応している。CR では WR よりもインフローの強度、壁雲の上昇流、壁雲での潜熱解放が強くなっている。このように台風外側領域から台風内部コア領域への水蒸気輸送が台風の発達に影響を与えていることを関連付ける結果が得られた。

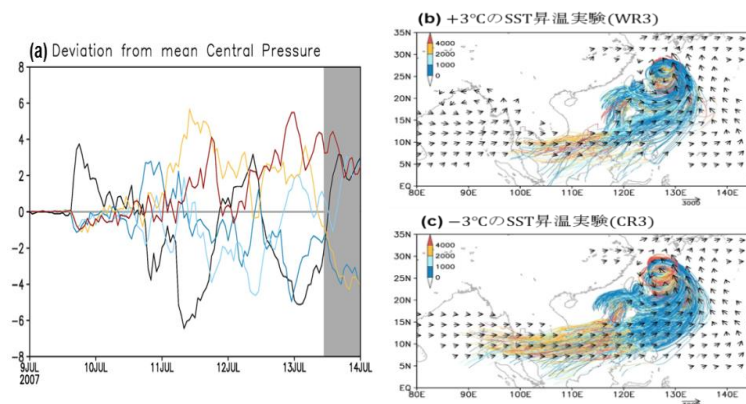


図 3. (a) 各改変実験の台風中心気圧の時系列を示す。黒が CNTL ラン、寒色系が CR、暖色系が WR を示す。灰色で覆われた時刻は台風が上陸した時刻を示す。(b) WR3 におけるインド洋・南シナ海起源の空気塊の流跡線を示す。ベクトルは 9 日 00UTC から 13 日 00UTC で平均した鉛直積分水蒸気フラックスを示す。流跡線の色は空気塊の高度を示す。(c) (b)と同様であるが、CR3 を示す。

5. まとめと議論

雲解像領域気象モデル CReSS を用いて、インド洋・南シナ海から台風内部コア領域へ輸送される水蒸気がどのように台風の発達に影響を与えているのかを調査した。本研究では沖縄を経由し日本に接近した台風 0704 号 (Man-yi) に注目した。台風が発達するにつれて、台風東側からインド洋・南シナ海に延びる水蒸気フラックスの顕著な領域(MCB)が形成され、MCB 直下の海域では蒸発が活発化していた。

後方流跡線解析の結果より、MCB を介して輸送される空気塊は MCB 直下の海域から多量の水蒸気供給を得て、台風システム内へ輸送されていた。その後、インフローにより壁雲付近に運ばれ、そこで強制上昇に伴って、潜熱加熱を誘起し、台風の発達に寄与していると考えられる。また、SST 改変実験による MCB の強弱はインフロー強度、壁雲の上昇流、壁雲での潜熱加熱の差とよく対応していた。

以上の結果を一連のプロセスとしてまとめると、①MCB が形成(強化)されると、②インド洋・南シナ海から台風システム内への湿潤空気塊の流入量が増加する。その後、③インフローによって台風内部コア領域に捕捉され、④壁雲で強制上昇させられる。その結果、⑤潜熱加熱が誘起され、台風の発達を促進させる。上述の一連の過程が他の台風に対しても成り立つかどうか、現在検証を行っている。

謝辞

CReSS は名古屋大学宇宙地球環境研究所で開発されているモデルです。モデルの使用についてこの場を借りてお礼申し上げます。また本研究集会において貴重な質問ならびにコメントを下された皆様に感謝いたします。

参考文献

- Braun, S. A. (2006), High-resolution simulation of Hurricane Bonnie (1998). Part II: Water budget. *J. Atmos. Sci.*, **63**, 43–64.
- Charney, J. G., and A. Eliassen (1964), On the growth of the hurricane depression. *J. Atmos. Sci.*, **21**, 68–75.
- Emanuel, K. A. (1988), The Maximum Intensity of Hurricanes. *J. Atmos. Sci.*, **45**, 1143–1155.
- Hedge, A. K., Kawamura, R., Kawano, T. (2015), Evidence for the significant role of sea surface temperature distributions over remote tropical oceans in tropical cyclone intensity. *Climate Dynamics*, doi:10.1007/s00382-015-2859-8.
- Kudo, T., Kawamura, R., Hirata, H., Ichiyonagi, K., Tanoue, M., Yoshimura, K. (2014), Large-scale vapor transport of remotely evaporated seawater by a Rossby wave response to typhoon forcing during the Baiu/Meiyu season as revealed by the JRA-55 reanalysis. *J. Geophys. Res. Atmos.*, **119**, 8825–8838.
- Rappaport, E. N., and Coauthors (2009), Advances and challenges at the National Hurricane Center. *Wea. Forecasting*, **24**, 395–419.
- Tsuboki, K., and Sakakibara A. (2002), Large-scale parallel computing of cloud resolving storm simulator. *High Performance Computing*, H.P.Zima et al., Eds., *Springer*, 243–259.
- Tsuboki, K., and Sakakibara A. (2007), Numerical prediction of high-impact weather systems. The Textbook for Seventeenth IHP training course in 2007. HyARC, Nagoya University, Japan, and UNESCO, 273 pp.
- Yang, M. J., S. A. Braun, D. S. Chen (2011), Water budget of Typhoon Nari (2001). *Mon. Weather Rev.*, **139**, 3809–3828.